

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2022年12月1日(01.12.2022)



(10) 国際公開番号

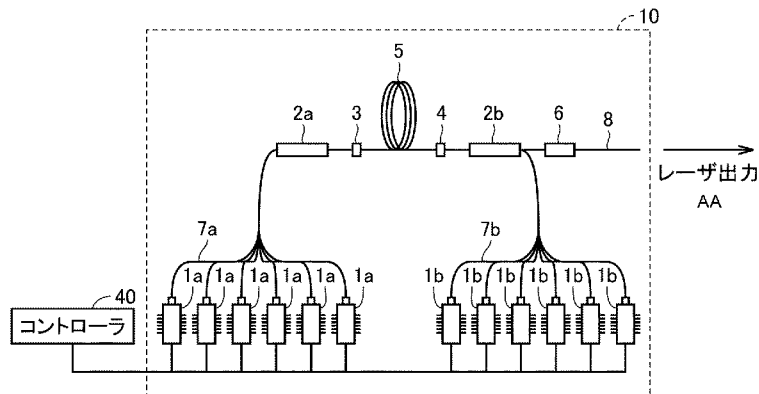
WO 2022/249883 A1

- (51) 国際特許分類:
B23K 26/064 (2014.01) *H01S 3/067* (2006.01)
H01S 3/00 (2006.01) *H01S 3/23* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/019878
- (22) 国際出願日: 2022年5月11日(11.05.2022)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2021-090382 2021年5月28日(28.05.2021) JP
- (71) 出願人: コマツ産機株式会社(KOMATSU INDUSTRIES CORPORATION)
[JP/JP]; 〒9200225 石川県金沢市大野町新町1番地1 Ishikawa (JP). 古河電気工業株式会社(FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.)
[JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区大手町二丁目6番4号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 林 清一(HAYASHI, Seiichi); 〒9230392 石川県小松市符津町ツ23 コマツ産機株式会社 産機テクノイノベーションセンタ内 Ishikawa (JP). 柏木 孝介(KASHIWAGI, Kosuke); 〒1008322 東京都千代田区大手町二丁目6番4号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人深見特許事務所(FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島三丁目2番4号 中之島フェスティバルタワー・ウエスト Osaka (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: LASER MACHINING DEVICE AND LASER MACHINING METHOD

(54) 発明の名称: レーザ加工装置およびレーザ加工方法

[図5]



40 Controller
AA Laser output

(57) Abstract: A feeding fiber cable (12) collectively extracts laser light generated by each of a plurality of fiber laser engines (10). A machining head (20) focuses and emits the laser light toward a material to be machined. A process fiber cable (16) transmits the laser light extracted by the feeding fiber cable (12) to the machining head (20). The feeding fiber cable (12) and the process fiber cable (16) have the same core diameter of 50 μm . Each of the plurality of fiber laser engines (10) have a filter (6) for reducing the value of Raman scattered light in the laser light.

[続葉有]

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約：フィーディングファイバケーブル(12)は、複数のファイバレーザエンジン(10)の各々で生成されたレーザ光をまとめて取り出す。加工ヘッド(20)は、被加工材にレーザ光を集光して射出する。プロセスファイバケーブル(16)は、フィーディングファイバケーブル(12)で取り出されたレーザ光を加工ヘッド(20)へ伝送する。フィーディングファイバケーブル(12)とプロセスファイバケーブル(16)とのコア径が等しく50 μ mである。複数のファイバレーザエンジン(10)の各々は、レーザ光中におけるラマン散乱光の値を低減するフィルタ(6)を有する。

明 細 書

発明の名称： レーザ加工装置およびレーザ加工方法

技術分野

[0001] 本開示は、レーザ加工装置およびレーザ加工方法に関する。

背景技術

[0002] 従来から、レーザ光を照射することにより被加工材の切断などの加工を行なうファイバレーザ加工機が知られている。このようなファイバレーザ加工機は、たとえば特許第6251684号公報（特許文献1参照）に開示されている。特許文献1には、フィーディングファイバケーブルとプロセスファイバケーブルとのコア径が等しく50 μ mであることが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第6251684号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] たとえば軟鋼厚板の切断には、アシストガスとして酸素ガスが用いられ、酸化反応熱を利用することで切断加工が行なわれている。一方、アシストガスとして酸素ガスが用いられると、酸化反応速度に律速されて、切断などの加工速度の高速化が難しくなる。そこで切断面における酸化皮膜の生成を嫌う薄板では、不活性ガス（窒素ガス、アルゴンガスなど）をアシストガスとして用いることが考えられる。この場合、加工速度を向上させるためには、レーザ光のスポット径を小さくして、パワー密度を高める方法がある。スポット径を小さくするためには、プロセスファイバのコア径を小さくして、集光レンズでレーザ光を絞る必要がある。

[0005] しかしながら特許文献1のようにコア径を小さくしても加工速度を高めることが難しいという問題があった。

[0006] 本開示の目的は、高い加工速度で加工することが容易なレーザ加工装置お

よびレーザ加工方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明者は、鋭意検討した結果、ファイバ内に発生するラマン散乱光の値が高くなると加工速度が遅くなるという知見を見出して本開示をなすに至った。

[0008] 本開示のレーザ加工装置は、金属材料よりなる被加工材を加工するレーザ加工装置であって、複数のファイバレーザエンジンと、フィーディングファイバケーブルと、加工ヘッドと、プロセスファイバケーブルとを備える。フィーディングファイバケーブルは、複数のファイバレーザエンジンの各々で生成されたレーザ光をまとめて取り出す。加工ヘッドは、被加工材にレーザ光を集光して射出する。プロセスファイバケーブルは、フィーディングファイバケーブルで取り出されたレーザ光を加工ヘッドへ伝送する。フィーディングファイバケーブルとプロセスファイバケーブルとのコア径が等しく $50\ \mu\text{m}$ である。複数のファイバレーザエンジンの各々は、レーザ光中におけるラマン散乱光の値を低減するフィルタを有する。

[0009] 本開示のレーザ加工方法は、上記レーザ加工装置を用いて、金属材料よりなる被加工材を加工するレーザ加工方法である。本開示のレーザ加工方法では、レーザ光の波長が $1\ \mu\text{m}$ 帯であり、アシストガスが不活性ガスであり、被加工材の加工点でのスポット径が $60\ \mu\text{m}$ 以上 $150\ \mu\text{m}$ 以下である。

発明の効果

[0010] 本開示によれば、高い加工速度で加工することが容易なレーザ加工装置およびレーザ加工方法を実現することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]一実施形態におけるレーザ加工装置の構成を示す斜視図である。

[図2]図1のレーザ加工装置におけるレーザ光射出機構の構成（単焦点レンズ）を示す図である。

[図3]図1のレーザ加工装置におけるフィーディングファイバケーブルとプロセスファイバケーブルとの接続構造を示す図である。

[図4]図1のレーザ加工装置におけるレーザ光射出機構の構成（ビーム径コントロール）を示す図である。

[図5]図2または図4におけるファイバレーザエンジンの構成を示す図である。

[図6]ラマン散乱光のフィルタに用いられるファイバブラッググレーティングを説明するための図である。

[図7]図6のファイバブラッググレーティングにより特定の波長成分が反射されることを説明するための図である。

[図8]一実施形態におけるレーザ加工方法を示すフロー図である。

[図9]加工点におけるラマン散乱光の値が -25 dB である場合の各焦点位置におけるレーザ出力と被加工材の切断速度との関係を示す図である。

[図10]加工点におけるラマン散乱光の値が -30 dB である場合の各焦点位置におけるレーザ出力と被加工材の切断速度との関係を示す図である。

[図11]加工点におけるラマン散乱光の値を測定する方法を説明するための図である。

[図12]加工点におけるラマン散乱光の値と被加工材に生じるバリの高さとの関係を示す図である。

[図13]レーザ光の焦点位置と被加工材に生じるバリの高さとの関係を示す図である。

[図14]被加工材の厚みとレーザ光の焦点位置との関係を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本開示の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、明細書および図面において、同一の構成要素または対応する構成要素には、同一の符号を付し、重複する説明を繰り返さない。また、図面では、説明の便宜上、構成を省略または簡略化している場合もある。

[0013] <レーザ加工装置の構成>

本実施形態におけるレーザ加工装置の構成について図1を用いて説明する

。

[0014] 図 1 は、一実施形態におけるレーザ加工装置の構成を示す斜視図である。

図 1 に示されるように、本実施形態のレーザ加工装置 30 は、たとえば金属材料よりなる被加工材（ワーク）を加工するものである。レーザ加工装置 30 は、キャビン 31 と、パレットチェンジャ 37 とを有している。

[0015] キャビン 31 は、ガルウイングドア 32 と、開閉式天井扉 33 と、第 1 操作盤 34 と、第 2 操作盤 35 と、複数の監視窓 36 とを有している。

[0016] ガルウイングドア 32 は、キャビン 31 の正面 31 F に設けられている。キャビン 31 の正面 30 F に対して反対側となる背面には、横長スリット状に形成された搬入出口（図示せず）が、パレットチェンジャ 37 に対応して設けられている。これにより、大ロット製品の加工時には、被加工物を載置するパレットが搬入出口を介して搬入出される。小ロット製品の加工時には、ガルウイングドア 32 から被加工物が搬入出される。このようにロットの大きさに対応した搬入出作業が可能である。

[0017] 開閉式天井扉 33 は、キャビン 31 の天井に配置されている。第 1 操作盤 34 は、キャビン 31 の正面 31 F であってガルウイングドア 32 の側方に配置されている。第 2 操作盤 35 は、キャビン 31 の側面 31 S において背面寄りに配置されている。複数の監視窓 36 は、キャビン 31 の側面 31 S に配置されている。複数の監視窓 36 の各々を通じてキャビン 31 の外部から内部を視認することができる。

[0018] レーザ加工装置 30 は、ファイバレーザ発振器 15（図 2）と、加工ヘッド 20（図 2）と、アシストガス供給部（図示せず）と、チラーユニット（図示せず）と、集塵機（図示せず）とをさらに有している。

[0019] ファイバレーザ発振器 15 は、レーザ光を発振する。加工ヘッド 20 は、ファイバレーザ発振器 15 により発振されたレーザ光を集光して被加工材に射出する。これにより加工ヘッド 20 は、被加工材を加工する。

[0020] アシストガス供給部は、被加工材にアシストガスを吹き付ける。アシストガスは、レーザ光を照射されることにより生じた被加工材の溶融池に吹き付

けられることにより材料を除去する。アシストガスとしては不活性ガス（窒素ガス、アルゴンガスなど）、酸素ガスなどが用いられる。アシストガス供給部は、ブースタコンプレッサなどを有している。

[0021] チラーユニットは、ファイバレーザ発振器 15 および加工ヘッド 20 の各々に冷却水を供給する。これによりファイバレーザ発振器 15 および加工ヘッド 20 が冷却される。集塵機は、加工時に発生する粉塵などを加工部から排除する。

[0022] <レーザ加工装置のレーザ光射出機構>

次に、図 1 に示される本実施形態のレーザ加工装置におけるレーザ光射出機構の構成について図 2 ～図 4 を用いて説明する。

[0023] 図 2 および図 4 のそれぞれは、図 1 のレーザ加工装置におけるレーザ光射出機構の構成を示す図である。図 3 は、図 1 のレーザ加工装置におけるフィーディングファイバケーブルとプロセスファイバケーブルとの接続構造を示す図である。

[0024] 図 2 に示されるように、本実施形態のレーザ加工装置 30 は、ファイバレーザ発振器 15 と、プロセスファイバケーブル 16 と、加工ヘッド 20 と、コントローラ 40 と、レンズ駆動源 41 と、操作部 42 とを有している。

[0025] ファイバレーザ発振器 15 は、複数のファイバレーザエンジン 10 と、複数のデリバリ光ファイバ 17 と、ビームコンバイナーモジュール 11 と、フィーディングファイバケーブル 12 と、融着ボックス 13 とを有している。

[0026] 複数のファイバレーザエンジン 10 の各々は、レーザ光を出力する。ファイバレーザ発振器 15 は、たとえば 6 個のファイバレーザエンジン 10 を有している。6 個のファイバレーザエンジン 10 の各々は、たとえば 1.5 kW のレーザ光の出力を有している。この場合、ファイバレーザ発振器 15 は、最大出力として、たとえば 9 kW の能力を有することになる。

[0027] 複数のデリバリ光ファイバ 17 の各々は、複数のファイバレーザエンジン 10 の各々に接続されている。複数のデリバリ光ファイバ 17 はビームコンバイナーモジュール 11 により 1 つのフィーディングファイバケーブル 12

に接続されている。これにより複数のファイバレーザエンジン 10 の各々から出力されたレーザ光は、ビームコンバイナーモジュール 11 で合波された後にフィーディングファイバケーブル 12 内を伝送される。

[0028] フィーディングファイバケーブル 12 は、融着ボックス 13 においてプロセスファイバケーブル 16 と接合されている。

[0029] 図 3 に示されるように、フィーディングファイバケーブル 12 は、コア 12 a と、コア 12 a の外周を被覆するクラッド層 12 b とを有している。プロセスファイバケーブル 16、コア 16 a と、コア 16 a の外周を被覆するクラッド層 16 b とを有している。

[0030] フィーディングファイバケーブル 12 とプロセスファイバケーブル 16 とは同一のコア径を有している。フィーディングファイバケーブル 12 のコア 12 a の直径 D_1 およびプロセスファイバケーブル 16 のコア 16 a の直径 D_2 の各々は、たとえば $50\ \mu\text{m}$ である。

[0031] コア径 D_1 、 D_2 が等しいフィーディングファイバケーブル 12 とプロセスファイバケーブル 16 とは、たとえば融着により接合されている。フィーディングファイバケーブル 12 とプロセスファイバケーブル 16 とは、互いに同心となるように接続されることが好ましい。

[0032] フィーディングファイバケーブル 12 とプロセスファイバケーブル 16 とは融着部 13 a において同一のコア径を有していればよいが、それぞれ光ファイバの延伸方向に沿って一様のコア径 D_1 、 D_2 を有することが好ましい。これにより、フィーディングファイバケーブル 12 とプロセスファイバケーブル 16 とに特別な加工を施すことなく、コア径 D_1 、 D_2 の違いによる輝度の低下を抑制することができ、ビーム品質を向上させることができる。

[0033] なお本明細書においては、ファイバケーブル 12、16 の各々のコア径 D_1 、 D_2 の分布が $\pm 10\%$ 以下の範囲にあれば、当該ファイバケーブル 12、16 の各々は一様のコア径を有しているものとする。たとえば、フィーディングファイバケーブル 12（またはプロセスファイバケーブル 16）が、その全長にわたって $50 \pm 5\ \mu\text{m}$ のコア径 D_1 （または D_2 ）を有している

場合、フィーディングファイバケーブル12（またはプロセスファイバケーブル16）は一樣のコア径を有しているものとする。このため本明細書においてコア径D1、D2の各々が50 μ mであるとは、コア径D1、D2の各々が全長にわたって50 $\pm$ 5 μ mであることを意味する。

[0034] 融着処理は、フィーディングファイバケーブル12とプロセスファイバケーブル16との端面を対向させて配置し、両端面を互いに突き当てた状態で加熱することで行われる。この融着処理は、光ファイバ融着接続機を用いて行うことができるが、調心性能に優れたコア直視型光ファイバ融着接続機を用いて行うことが好ましい。光ファイバ融着接続機を用いて融着処理を行うことで、従来よりもコア径の小さいプロセスファイバケーブル16を用いることが可能となる。またコア径D1、D2の小さいファイバケーブル12、16同士を接続することにより、レーザ光の広がり角を小さくすることができ、切断速度（加工速度）を高めることができる。

[0035] クラッド層12b、16bの各々の直径D3、D4の各々は特に限定されない。クラッド層12bの径D3とクラッド層16bの径D4とは、同一であってもよく、また異なってもよい。

[0036] 図2に示されるように、プロセスファイバケーブル16はたとえば20mの長さを有している。プロセスファイバケーブル16は、加工ヘッド20に接続されている。加工ヘッド20は、コネクタユニット20Aと、コリメータユニット20Bと、レンズユニット20Cと、ノズルユニット20Dとを有している。

[0037] コネクタユニット20Aは、加工ヘッド20にプロセスファイバケーブル16を接続する部分である。コネクタユニット20Aに接続されたプロセスファイバケーブル16から加工ヘッド20内にレー光が出射される。

[0038] コリメータユニット20Bは、プロセスファイバケーブル16から加工ヘッド20内に出射されたレーザ光を平行光線とする部分である。コリメータユニット20Bは、レーザ光を平行光線とするコリメータレンズ23を有している。

- [0039] レンズユニット20Cは、平行光線化したレーザ光を集光する部分である。レンズユニット20Cは、平行光線化したレーザ光を集光する集光レンズ26を有している。集光レンズ26は、レンズ駆動源41によりレーザ光の光軸方向に移動可能である。
- [0040] レンズ駆動源41は、たとえばサーボモータである。集光レンズ26がレーザ光の光軸方向に移動することによって、レーザ光の焦点位置を光軸方向に移動させることができる。これにより被加工材に対するレーザ光の焦点位置を変更することができる。
- [0041] ノズルユニット20Dは、集光されたレーザ光を被加工材に向けて射出する部分である。ノズルユニット20Dのレーザ射出口は、被加工材と所定距離のギャップを介在するように配置される。ノズルユニット20Dは、アシストガスを被加工材に向けて吹き付けるためのガス吹出口（図示せず）を有している。
- [0042] また加工ヘッド20は、保護ガラス22、24、25、27を有している。保護ガラス22は、コネクタユニット20Aの出口付近に配置されている。保護ガラス24は、コリメータユニット20B内でコリメータレンズ23のレンズユニット20C側に配置されている。保護レンズ25、27は、レンズユニット20C内で集光レンズ26をレーザ光の光軸方向に挟み込むように配置されている。
- [0043] コントローラ40は、プロセスファイバケーブル16の長さに基づいて、被加工材の加工点でのラマン散乱光の値が -30 dB 以下となるように複数のファイバレーザエンジン10の各々における発振出力を制限する。プロセスファイバケーブル16の長さは、たとえば操作部42から操作者によってコントローラ40に入力されてもよい。操作部42は、たとえば第1操作盤34および第2操作盤35のいずれかであってもよい。
- [0044] 被加工材の加工点でのラマン散乱光の値はプロセスファイバケーブル16の長さ、発振出力に比例して増加する。このため、ラマン散乱光の値が -30 dB 以下となるように複数のファイバレーザエンジン10の各々における

発振出力が制限される。たとえば操作部 4 2 から操作者によってコントローラ 4 0 の入力値に制限が設けられる。操作部 4 2 は、たとえば第 1 操作盤 3 4 および第 2 操作盤 3 5 のいずれかであってもよい。

[0045] たとえば 2 0 m の長さを有するプロセスファイバケーブル 1 6 を用いて加工点でのラマン散乱光の値を -30 dB 以下とするために、ファイバレーザ発振器 1 5 の出力はたとえば 8 kW に制限される。

[0046] またコントローラ 4 0 は、加工の種類に基づいて、複数のファイバレーザエンジン 1 0 の中からレーザ光を発振させるファイバレーザエンジン 1 0 と発振させないファイバレーザエンジン 1 0 とを選択する。加工の種類は、たとえば操作部 4 2 から操作者によってコントローラ 4 0 へ入力されてもよい。

[0047] たとえば加工の種類が被加工材の切断などである場合には、コントローラ 4 0 は全てのファイバレーザエンジン 1 0 が発振するように制御する。また加工の種類がたとえば被加工材へのケガキ加工、または被加工材表面へのマーキング加工の時には、コントローラ 4 0 は一部のファイバレーザエンジン 1 0 のみを発振させ、残りのファイバレーザエンジンを発振させないことで、発振出力を制限する。

[0048] またコントローラ 4 0 は、たとえば被加工材の厚みに基づいて、レンズ駆動源 4 1 を駆動制御する。これによりレーザ光の焦点位置が被加工材に対して最適な位置となるように、レーザ光の光軸方向における集光レンズ 2 6 の位置が制御される。被加工材の厚みは、たとえば操作部 4 2 から操作者によってコントローラ 4 0 へ入力されてもよい。レーザ光の焦点位置は、たとえば被加工材の表面から被加工材の厚みの中央までのいずれかの位置に設定される。

[0049] 上記により被加工材の材質、アシストガスの種類または被加工材の厚みに応じて、レーザ光の焦点位置を調整することができる。

[0050] なお上記においては単焦点レンズを用いた加工ヘッド 2 0 について説明したが、加工ヘッド 2 0 はレーザ光のビーム径を制御できるよう構成されてい

てもよい。この場合、図4に示されるように加工ヘッド20は、ビーム径制御ユニット20Eを有している。ビーム径制御ユニット20Eは、2つのレンズ28、29を有している。たとえばレンズ29をレンズ28に対して相対的にレーザ光の光軸方向に移動させることにより、レーザ光のビーム径を調整することができる。

[0051] 図4の構成においては、たとえばレンズ29がレンズ駆動源43によりレーザ光の光軸方向に移動可能である。レンズ駆動源43は、たとえばサーボモータである。レンズ駆動源41は、コントローラ40から指令に基づいて駆動して、レンズ29をレーザ光の光軸方向に移動させる。

[0052] ビーム径が調整されることにより、結果として集光レンズ26により集光されたスポット径（集光径）が調整される。被加工材の加工点でのスポット径は、たとえば60 μ m以上150 μ m以下に調整される。

[0053] アシストガスとして酸素ガスを用いる場合および不活性ガスと酸素ガスを切り替えて用いる場合には、レーザ光のビーム径を調整できることが好ましい。一方、アシストガスを不活性ガス（たとえば窒素ガス）に限定する場合には、レーザ光のビーム径を調整する必要は無い。このため、この場合には図2に示されるように、ビーム径制御ユニット20E（図4）を有しない加工ヘッド20が用いられる。

[0054] <ファイバレーザエンジンの構成>

次に、本実施形態のファイバレーザエンジンの構成について図5～図7を用いて説明する。

[0055] 図5は、図2または図4におけるファイバレーザエンジンの構成を示す図である。図6は、ラマン散乱光のフィルタに用いられるファイバブラッググレーティングを説明するための図である。図7は、図6のファイバブラッググレーティングにより特定の波長成分が反射されることを説明するための図である。

[0056] 図5に示されるように、ファイバレーザエンジン10は、複数の半導体励起光源1a、1bと、光合波器2a、2bと、光ファイバブラッググレーテ

ィング（FBG HR100%）3と、光ファイバブラッググレーティング（FBG OC10%）4と、増幅用光ファイバ5と、ラマン光低減フィルタ6と、複数の光ファイバ7a、7bと、出力光ファイバ8とを有している。

[0057] 複数の半導体励起光源1aの各々は、増幅用光ファイバ5に供給する励起光を出力する。励起光は、増幅用光ファイバ5を光励起できる波長、たとえば915nmの波長を有している。複数の光ファイバ7aの各々は、複数の半導体励起光源1aの各々から出力された励起光を伝搬し、光合波器2aに出力する。

[0058] 光合波器2aは、たとえばTFB（Tapered Fiber Bundle）で構成されている。光合波器2aは、複数の光ファイバ7aから入力された励起光を、信号光ポートの光ファイバに合波し、増幅用光ファイバ5へ出力する。

[0059] 励起光源である複数の半導体励起光源1bの各々は、増幅用光ファイバ5に供給する励起光を出力する。励起光は、増幅用光ファイバ5を光励起できる波長、たとえば915nmの波長を有している。複数の光ファイバ7bの各々は、複数の半導体励起光源1bの各々から出力された励起光を伝搬し、光合波器2bに出力する。

[0060] 光合波器2bは、光合波器2aと同様に、たとえばTFBで構成されている。光合波器2bは、複数の光ファイバ7bから入力された励起光を、信号光ポートの光ファイバに合波し、増幅用光ファイバ5へ出力する。

[0061] 増幅用光ファイバ5は、コア部と、内側クラッド層と、外側クラッド層とを有するダブルクラッド型の光ファイバである。コア部は、たとえば石英系ガラスに増幅物質であるイッテルビウム（Yb）イオンが添加されたYDF（Ytterbium Doped Fiber）である。内側クラッド層は、コア部の外周を被覆しており、たとえば石英系ガラスからなっている。外側クラッド層は、内側クラッド層の外周を被覆しており、たとえば樹脂などからなっている。

[0062] なお増幅用光ファイバ5のコア部は、たとえば0.08のNA（Numerical Aperture：開口数）を有し、Ybイオンの光励起により発せられた光（た

たとえば波長 1070 nm)をシングルモードで伝搬するように構成されている。増幅用光ファイバ5のコア部の吸収係数は、たとえば波長 915 nm において 200 dB/m である。また、コア部に入力された励起光からレーザー光へのパワー変換効率はたとえば 70% である。

[0063] 後端側反射手段であるFBG3は、光合波器2aの信号光ポートの光ファイバと増幅用光ファイバ5との間に接続されている。FBG3は、たとえば 1070 nm の中心波長を有している。FBG3では、中心波長(1070 nm)およびその周辺の約 2 nm の幅の波長帯域における反射率が約 100% である。波長 915 nm の光のほとんどはFBG3を透過する。

[0064] 出力側反射手段であるFBG4は、光合波器2bの信号光ポートの光ファイバと増幅用光ファイバ5との間に接続されている。FBG4は、FBG3と略同じ中心波長(たとえば 1070 nm)を有している。FBG4では、中心波長(1070 nm)における反射率が 10% 以上 30% 以下程度であり、反射波長帯域の半値全幅が約 1 nm である。波長 915 nm の光のほとんどはFBG4を透過する。

[0065] FBG3、4は、増幅用光ファイバ5の両端のそれぞれに配置され、たとえば波長 1070 nm の光に対して光ファイバ共振器を構成する。

[0066] 増幅用光ファイバ5では、励起光によってコア部のYbイオンが光励起され、波長 1070 nm を含む帯域の光が発せられる。波長 1070 nm の光は、増幅用光ファイバ5の光増幅作用とFBG3、4によって構成される光共振器の作用とによってレーザー光として発振する。

[0067] 出力光ファイバ8は、光合波器2bに対してFBG4とは反対側に配置され、光合波器2bの信号光ポートの光ファイバに接続されている。発振したレーザー光は出力光ファイバ8から出力される。出力光ファイバ8は、たとえばデリバリ光ファイバ17(図2)に接続されている。レーザー光はデリバリ光ファイバ17によって所定の用途のために伝搬される。

[0068] FBG3、4により構成される光ファイバ共振器から発振されたレーザー光にはラマン散乱光が含まれる。このため本実施形態においては、ラマン光低

減フィルタ 6 によりラマン散乱光が低減される。これによりファイバレーザエンジン 10 から出力されるレーザ光中のラマン散乱光の値が、たとえば -40 dB 以下に制限される。また被加工材の加工点におけるラマン散乱光の値は、たとえば -30 dB 以下に制限される。

[0069] ラマン光低減フィルタ 6 は、たとえば光合波器 2 b と出力光ファイバ 8 との間に配置されている。ここで、レーザ光によって、光ファイバレーザを構成する光ファイバのうち、レーザ光が伝搬する光ファイバ内でラマン散乱光が発生する。レーザ光が伝搬する光ファイバとは、主に増幅用光ファイバ 5、FBG 4、光合波器 2 b の信号光ポートを構成する光ファイバ、出力光ファイバ 8 およびこれらを接続する光ファイバである。ラマン光低減フィルタ 6 は、発生したラマン散乱光のパワーを選択的に低下させる機能を有する。

[0070] 本実施形態では、レーザ光の波長はたとえば 1070 nm であるので、ラマン散乱光の波長は 1120 nm 程度である。ラマン光低減フィルタ 6 の透過率は、 1120 nm 付近でたとえば -30 dB 以下である。したがってラマン散乱光がラマン光低減フィルタ 6 に入力されると、ラマン散乱光のパワーは選択的かつ大幅に低下する。

[0071] ラマン光低減フィルタ 6 は、たとえばスラント型のファイバブラッググレーティング (FBG) によって構成されている。スラント型 FBG は、ラマン散乱光を選択的に反射などして FBG のコアの外部に漏洩させることによって、ラマン散乱光のパワーを低下させる。

[0072] 図 6 (A)、(B) に示されるように、FBG においては、光ファイバのコア 6 a に屈折率変調 (回折格子 6 d) が形成されている。なおコア 6 a の外周はクラッド層 6 b により被覆されており、クラッド層 6 b の外周はバッファ層 6 c により被覆されている。

[0073] FBG においては、コア 6 a における有効屈折率を n とし、グレーティング周期と呼ばれるグレーティング (回折格子 6 d) の間隔を L とすると、回折格子 6 d の周期に合致した波長 ($\lambda_B = 2nL$) の光信号のみが反射され、他の波長の光信号は通過する。

[0074] これにより図 7 (A) に示されるような波長帯域を有する入射光が、図 7 (B) に示される光ファイバのコア 6 a 内を伝送し、F B G の回折格子 6 d を通過する際に、回折格子 6 d の間隔 L に比例する特定波長 (λ_B) の成分が反射する。また特定波長 (λ_B) 以外の成分は回折格子 6 d を通過する。このため回折格子 6 d の透過光は、図 7 (C) に示されるように特定波長 (λ_B) の成分のみが除かれた波長帯域を有する。なお特定波長 (λ_B) は、ブラッグ波長と呼ばれる。

[0075] ここでスラント型 F B G においては、光ファイバのコア 6 a に形成された回折格子 6 d によりグレーティング方向（屈折率上昇が起きている面に垂直な方向）が光ファイバ軸から傾けられている（スラントされている）。このため特定波長 (λ_B) の成分の光をコア 6 a の外部に漏洩させることができる。

[0076] 以上より、ラマン光低減フィルタ 6 をスラント型の F B G で構成し、回折格子 6 d の間隔 L を調整して特定波長 (λ_B) をラマン散乱光の波長に合致させることにより、ラマン散乱光をコア 6 a の外部に漏洩させることができる。これにより光ファイバ内のラマン散乱光のパワーを低下させることができる。

[0077] <レーザ加工方法>

次に、本実施形態のレーザ加工方法について図 2、図 5 ～図 8 を用いて説明する。

[0078] 図 5 に示されるように、本実施形態のレーザ加工方法では、複数の半導体励起光源 1 a、1 b の各々から励起光が出力される。複数の半導体励起光源 1 a の各々から出力された励起光は、光合波器 2 a で合波された後、F B G 3 を透過して、増幅用光ファイバ 5 へ出力される。複数の半導体励起光源 1 b の各々から出力された励起光は、光合波器 2 b で合波された後、F B G 4 を透過して、増幅用光ファイバ 5 へ出力される。

[0079] 増幅用光ファイバ 5 では、励起光によってコア部の Y b イオンが光励起され、たとえば波長 1070 nm を含む帯域の光が発せられる。波長 1070

n mの光は、増幅用光ファイバ5の光増幅作用とF B G 3、4によって構成される光共振器の作用とによってレーザ光として発振する。

[0080] 発振されたレーザ光の波長は、 $1\ \mu\text{m}$ 帯（ $1\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 未満）の波長であり、たとえば $1070\ \text{nm}$ である。

[0081] 発振されたレーザ光にはラマン散乱光が含まれる。このため本実施形態においては、ラマン光低減フィルタ6により、レーザ光に含まれるラマン散乱光が低減される。具体的には、図6および図7に示される回折格子6 dによりグレーティング方向が光ファイバ軸から傾けられることにより、ラマン散乱光がコア6 aの外部に漏洩される。

[0082] このようにラマン光低減フィルタ6によりラマン散乱光が低減されたレーザ光が複数のファイバレーザエンジン10の各々から出力される（ステップS1：図8）。

[0083] 図2に示されるように、複数のファイバレーザエンジン10の各々から出力されたレーザ光が、 $50\ \mu\text{m}$ のコア径を有するフィーディングファイバケーブル12にまとめて取り出される（ステップS2：図8）。

[0084] フィーディングファイバケーブル12に取り出されたレーザ光は、 $50\ \mu\text{m}$ のコア径を有するプロセスファイバケーブル16を通じて加工ヘッド20へ伝送される（ステップS3：図8）。加工ヘッド20によりレーザ光が被加工材に集光されて射出される（ステップS4：図8）。これにより被加工材がレーザ加工装置により加工される。

[0085] レーザ光が被加工材に照射される際には、アシストガスとして不活性ガス（たとえば窒素ガス、アルゴンガス）が被加工材に吹き付けられる。被加工材の加工点におけるレーザ光のスポット径は、たとえば $60\ \mu\text{m}$ 以上 $150\ \mu\text{m}$ 以下である。またレーザ光の焦点位置は、被加工材の表面から被加工材の厚みの中央までのいずれかの位置に設定されることが好ましい。

[0086] 以上のように本実施形態では、 $1\ \mu\text{m}$ 帯（たとえば $1070\ \text{nm}$ ）の波長のレーザ光がコア径 $50\ \mu\text{m}$ のプロセスファイバケーブル16により加工ヘッド20まで導かれ、加工点におけるラマン散乱光の値が $-30\ \text{dB}$ 以下と

なるレーザ光で被加工材が加工される。

[0087] また加工点におけるラマン散乱光の値を -30 dB 以下にするために、ラマン光低減フィルタ6によりファイバレーザエンジン10から出力されるラマン散乱光の値が -40 dB 以下とされる。加えて、ファイバレーザエンジン10から出力されたレーザ光を伝送するプロセスファイバケーブル16の長さに基づいて、複数のファイバレーザエンジン10の各々における発振出力を制限する。

[0088] 具体的には $50\text{ }\mu\text{m}$ のコア径を有するプロセスファイバケーブル16の長さが 10 m の場合には、複数のファイバレーザエンジンの合計の最大出力が 9 kW となるように、複数のファイバレーザエンジン10の各々における発振出力が調整される。また $50\text{ }\mu\text{m}$ のコア径を有するプロセスファイバケーブル16の長さが 20 m の場合には、複数のファイバレーザエンジンの合計の最大出力が 8 kW となるように、複数のファイバレーザエンジン10の各々における発振出力が制限される。

[0089] <効果>

次に、本実施形態の効果について説明する。

[0090] レーザ光により金属材料が切断される場合、 $60\text{ }\mu\text{m}\sim 800\text{ }\mu\text{m}$ のスポット径となるようにレーザ光が集光されて、エネルギー密度が高くされることにより被加工材が金属融点以上に加熱されている。また、そのように加工された状態で、溶融池にアシストガスが吹き付けられることにより材料が除去されつつ切断加工が行なわれている。

[0091] 軟鋼厚板を切断する場合には、アシストガスに酸素ガスが用いられることにより、酸化反応熱を利用した切断加工が行なわれている。また比較的薄い板を切断する場合であって切断面への酸化皮膜の発生を嫌う場合には、アシストガスに窒素ガスが用いられている。

[0092] $1\text{ }\mu\text{m}$ 帯 ($1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $2\text{ }\mu\text{m}$ 未満)の波長を有するレーザ光で軟鋼厚板を切断する場合、当該レーザ光の被加工材に対する吸収率は、 $10\text{ }\mu\text{m}$ の波長を有する炭酸ガスレーザと比較して高い。このため、アシストガスに酸

素ガスを使用してスポット径を小さくすると容易にセルフバーニングが発生するため、安定切断が困難であった。

[0093] そこで厚板の切断時におけるレーザ光のスポット径を大きくしてカーフ幅（切断溝幅）を広くすることにより溶融池の湯流れを良くして、厚板の切断が行われている。

[0094] 一方、薄板を切断する場合に、アシストガスとして酸素が用いられると、酸化反応速度に律速されて薄板の切断速度が遅くなる。そこで薄板を切断する場合には、アシストガスとして窒素などの不活性ガスを用いることが考えられる。アシストガスとして窒素ガスを用いて薄板を切断する場合、切断速度を上げるためにはレーザ光のスポット径をなるべく小さくしてエネルギー密度を上げる必要がある。

[0095] レーザ光のスポット径は、プロセスファイバケーブル16のコア径に加工ヘッド20の光学倍率を乗じること（スポット径＝コア径×光学倍率）により得られる。光学倍率は、図2に示されるように加工ヘッド20におけるコリメータの焦点距離を f_C とし、集光レンズの焦点距離を f_L としたとき、 f_L / f_C で表される。このためレーザ光のスポット径を小さくするためには、プロセスファイバケーブルのコア径と光学倍率とを小さくする必要がある。

[0096] しかしながら高出力のファイバレーザ発振器を用いてプロセスファイバケーブルのコア径を現状入手可能な最小のコア径である $50\mu m$ と小さくしても、これまでは、被加工材の切断速度を上げることができなかった。

[0097] そこで本発明者は、被加工材の切断速度を上げることができない理由について鋭意検討した。その結果、本発明者は、ファイバレーザ発振器の出力を上げると、レーザ光に含まれるラマン散乱光の値が大きくなることによって、被加工材の切断速度を大きくできないことを見出した。

[0098] 本実施形態によれば上記知見に基づいて、図5に示されるように、複数のファイバレーザエンジン10の各々に、ラマン光低減フィルタ6が設けられている。ラマン光低減フィルタ6は、レーザ光中のラマン散乱光を低減する

。このため、 $50\mu\text{m}$ とコア径の小さいプロセスファイバケーブル16を用いてファイバレーザ発振器の出力を上げることにより、被加工材の加工速度を大きくすることが可能となる。

[0099] ラマンとは、物質に光が入射された時、入射された光の波長と異なる波長の光が、散乱された光の中に含まれる現象をいう。ラマン散乱光は、従来のレーザ加工装置においては、半導体励起光源1aからノズルユニット20Dに向かうに従って増幅する。また被加工材で反射されたレーザ光の反射光が加工ヘッド20を通じてプロセスファイバケーブル16に入射されると、反射光が半導体励起光源1aへ戻る際にラマン散乱光はさらに増幅する。

[0100] 反射によって戻るラマン散乱光は、被加工材の切断に必要な波長（たとえば 1080nm ）のレーザ光に干渉し、レーザの出力変動を生じさせる。また被加工材の切断に必要な波長のレーザ光はFBG3によって共振器内に戻される。しかしラマン散乱光はFBG3を透過する波長を有するため、半導体励起光源1aに達して半導体励起光源1aを損傷させる。

[0101] 本実施形態においては、ラマン光低減フィルタ6によりラマン散乱光の値を低減できる。このため被加工材にて反射した反射光に含まれるラマン散乱光がプロセスファイバケーブル16に入射されても、プロセスファイバケーブル16に入射されるラマン散乱光を少なくできる。このため、ラマン散乱光が被加工材の切断に必要な波長のレーザ光に干渉することによるレーザの出力変動を抑制でき、かつラマン散乱光による半導体励起光源1aの損傷を抑制することもできる。

[0102] また本実施形態によれば図5に示されるラマン光低減フィルタ6は、ラマン散乱光をファイバケーブルのコア外へ漏洩する構成を有している。これによりレーザ光中のラマン散乱光を低減することが可能となる。

[0103] またプロセスファイバケーブル16が長くなるとレーザ光中のラマン散乱光が増大して、被加工材の加工速度が低下し、半導体励起光源1a、1bが損傷するおそれがある。

[0104] これについて本実施形態によれば図2に示されるように、プロセスファイ

バケープル 16 の長さに基づいて、複数のファイバレーザエンジン 10 の各々における発振出力を制限するコントローラ 40 が設けられている。これによりプロセスファイバケープル 16 の長さに関わらず、加工点でのラマン散乱光の値を -30 dB 以下に制御することが可能となり、ラマン散乱光による半導体励起光源 1 a、1 b の損傷を防止することができる。

[0105] これについて本実施形態によれば図 2 に示されるように、複数のファイバレーザエンジン 10 の各々における発振出力を制限するコントローラ 40 が設けられている。これによりプロセスファイバケープル 16 の長さに応じて、加工点でのラマン散乱光の値を -30 dB 以下に制御することが可能となり、ラマン散乱光による半導体励起光源 1 a、1 b の損傷を防止することができる。

[0106] またファイバレーザエンジンの最小出力は定格出力の 10% 程度であるため、出力 1500 W のファイバレーザエンジンでは 150 W ~ 1500 W が出力調整可能な範囲である。このため、たとえば出力 1500 W のファイバレーザエンジンを 4 個組み合わせた、定格出力が 6000 W の発振器では、出力調整範囲は 600 W ~ 6000 W となる。

[0107] 一方、被加工材へのケガキ加工、または被加工材表面へのマーキング加工の時には出力を 300 W 程度まで絞る必要がある。しかし高出力発振器では出力調整範囲外となるため、ケガキ加工またはマーキング加工などが実施できない問題があった。

[0108] これについて本実施形態によれば図 2 に示されるように、コントローラ 40 は、複数のファイバレーザエンジン 10 から、レーザ光を発振させるファイバレーザエンジン 10 と、発振させないファイバレーザエンジン 10 とを選択する。これによりケガキ加工またはマーキング加工時には、発振するファイバレーザエンジン 10 の個数を制限することにより、複数のファイバレーザエンジン 10 における発振出力を制限することができる。

[0109] また本実施形態によれば、レーザ光の波長が $1\text{ }\mu\text{m}$ 帯であり、アシストガスが不活性ガスであり、被加工材の加工点でのスポット径が $60\text{ }\mu\text{m}$ 以上 1

50 μm 以下である。

[0110] また本実施形態によれば図14に示されるように、レーザ光の焦点の位置は被加工材Wの表面MSから被加工材Wの厚みTの中央までのいずれかの位置に設定される。これにより被加工材の加工速度を高く保つとともに、被加工材Wの切断面裏側に生じるバリの高さを低くすることができる。

[0111] また本実施形態によれば、被加工材の加工点におけるラマン散乱光の値は−30 dB以下である。これによりコア径の小さい（50 μm の）プロセスファイバケーブル16を用いてファイバレーザ発振器15の出力を上げることで、被加工材の加工速度を大きくすることが可能となる。

実施例

[0112] 以下、本発明者が行なった検討内容を実施例として以下に説明する。

〔切断速度〕

本発明者は、被加工材の切断速度を上げることができない理由について様々な検討を行なった。その検討の中で、本発明者は、加工点におけるラマン散乱光の値を様々に変えて、各ラマン散乱光の値でのレーザ出力と被加工材の切断速度との関係について調べた。その結果の一部として、加工点におけるラマン散乱光の値が−25 dBおよび−30 dBである場合の結果を図9および図10に示す。

[0113] この検討においては、ラマン散乱光の値が−25 dBである場合、光学倍率（ f_L / f_C ）を1.5倍とし、ラマン散乱光の値が−30 dBである場合、光学倍率（ f_L / f_C ）を1.25倍とした。

[0114] また加工点におけるラマン散乱光の値が−25 dBおよび−30 dBのいずれの場合も、被加工材としてJIS（Japanese Industrial Standards）

G 3141に規定されたSPCC（厚み1.6 mm）を用いた。半導体励起光源から出力される励起光の波長を915 nmとし、発振されるレーザ光の波長を1070 nmとした。フィーディングファイバケーブルおよびプロセスファイバケーブルの各々のコア径を50 μm とした。アシストガスとして窒素を用いた。

- [0115] またレーザ光の焦点位置を被加工材の表面から -1.2 以上 $+0.4$ 以下の範囲で変化させた。焦点位置を表す数値の前に付されたマイナス「 $-$ 」の記号は、焦点位置が被加工材の内部にある場合（インフォーカスの場合）を示す。一方、焦点位置を表す数値の前に付されたプラス「 $+$ 」の記号は、焦点位置が被加工材の外部にある場合（デフォーカスの場合）を示す。
- [0116] 図9に示されるように、加工点におけるラマン散乱光の値が -25 dBである場合、レーザ出力を大きくしていくと、 -0.8 および -0.4 の焦点位置において、切断速度が所定のレーザ出力値から低下した。一方、図10に示されるように、加工点におけるラマン散乱光の値が -30 dBである場合、レーザ出力を大きくしても、設定したレーザ出力の範囲内では切断速度は低下しなかった。
- [0117] これらの検討から、プロセスファイバケーブルが $50\text{ }\mu\text{m}$ の場合、加工点におけるラマン散乱光の値を -30 dB以下と小さくすることで、レーザ出力を 2400 W 以上に大きくしていくとレーザ光の出力の増加に比例して被加工材の切断速度も増加するという知見が得られた。このような知見は、従来にない知見であり、本発明者により初めて得られた知見である。
- [0118] この知見に基づいて、本開示では、複数のファイバレーザエンジン10の各々がラマン散乱光の発生を抑制するラマン光低減フィルタ6を有している。これによりプロセスファイバケーブル16のコア径を $50\text{ }\mu\text{m}$ と小さくしながら、加工点におけるラマン散乱光の値を -30 dB以下にすることができ、このため従来実現できなかった加工速度で被加工材を加工することが可能となる。
- [0119] なお加工点におけるラマン散乱光の値は、図11に示されるように、光スペクトラムアナライザ104により検出される。光スペクトラムアナライザ104は、レーザ出力コネクタ101からパワーメータ（パワーダンパー）102へ射出されたレーザ光の拡散光をピックアップファイバ103を通じて入力される。光スペクトラムアナライザ104は、入力された拡散光を分析することにより加工点におけるラマン散乱光の値を検出する。

[0120] [バリの高さ]

アシストガスに窒素ガスを用いて薄板を切断する場合、バリが被加工材の切断面裏側に発生することがあった。本発明者は、加工点におけるラマン散乱光の値と切断により切断面裏側に生じたバリの高さとの関係について調べた。その結果を図12に示す。

[0121] この検討においては、被加工材としてJIS G 3131に規定されたSPHC（厚み6mm）を用いた。半導体励起光源から出力される励起光の波長を915nmとし、発振されるレーザ光の波長を1070nmとした。フィーディングファイバケーブルおよびプロセスファイバケーブルの各々のコア径を50 μ mとした。被加工材の切断速度を3.5m/分とした。またレーザ出力を5kW、5.6kW、6kW、8kWとした。

[0122] 図12に示されるように、レーザ出力を5.6kWとした場合、加工点におけるラマン散乱光の値は-20.5dBとなり、バリ高さは120 μ mとなった。レーザ出力を5kWとした場合、加工点におけるラマン散乱光の値は-35.5dBとなり、バリ高さは60 μ mとなった。レーザ出力を6kWとした場合、加工点におけるラマン散乱光の値は-41.3dBとなり、バリ高さは60 μ mとなった。レーザ出力を8kWとした場合、加工点におけるラマン散乱光の値は-40.5dBとなり、バリ高さは70 μ mとなった。

[0123] この検討から、加工点におけるラマン散乱光の値を-30dB以下にすれば、被加工材に生じるバリの高さを80 μ m以下に抑えられることが分かった。

[0124] また本発明者は、被加工材に対するレーザ光の焦点位置とバリの高さとの関係についても調べた。その結果を図13に示す。

[0125] この検討においては、図14に示されるように、加工ヘッド20のノズル20Da先端と被加工材の表面MSとのギャップGを0.5mmとした。また被加工材WとしてJIS G 3101に規定されたSS（厚み9mm）を用いた。半導体励起光源から出力される励起光の波長を915nmとし、

発振されるレーザ光の波長を 1070 nm とした。フィーディングファイバケーブルおよびプロセスファイバケーブルの各々のコア径を $50\text{ }\mu\text{m}$ とした。加工点におけるラマン散乱光の値を -30 dB 以下とした。アシストガスとして窒素を用いた。レーザ光の焦点位置を被加工材Wに対してインフォーカスとして、被加工材Wの厚みTに対して $-2.5T/9$ から $-6T/9$ まで変化させた。

[0126] 図13に示されるように、焦点位置が $-4.5T/9$ となった時に切断面裏側に生じたバリの高さが最小となった。また焦点位置が $-4.5T/9$ 以上 $-3.5T/9$ 以下であれば、それ以外の焦点位置と比較してバリの高さを低く抑えることができた。

[0127] また薄板を高速で切断するためには、レーザ光のスポット径を最小とすることが好ましい。このため薄板を高速で切断するためには、レーザ光の焦点位置が被加工材Wの表面MSに設定されることが好ましい。

[0128] これらの検討から、アシストガスとして窒素ガスを用いて被加工材を切断する場合、切断速度とバリの高さを考慮すると、レーザ光の焦点位置は、被加工材Wの表面MSから被加工材Wの厚みの中央 ($-4.5T/9$) までのいずれかの位置に設定されることが好ましいことが分かった。またバリの高さを低くすることを考慮した場合には、焦点位置が $-4.5T/9$ 以上 $-3.5T/9$ 以下のいずれかの位置に設定されることが好ましいことが分かった。

[0129] 今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0130] 1a, 1b 半導体励起光源、2a, 2b 光合波器、5 増幅用光ファイバ、6 ラマン光低減フィルタ、6a, 12a, 16a コア、6b, 12b, 16b クラッド層、6c バッファ層、6d 回折格子、7a, 7

b 光ファイバ、8 出力光ファイバ、10 ファイバレーザエンジン、11 ビームコンバイナーモジュール、12 フィーディングファイバケーブル、13 融着ボックス、13a 融着部、15 ファイバレーザ発振器、16 プロセスファイバケーブル、17 デリバリ光ファイバ、20 加工ヘッド、20A コネクタユニット、20B コリメータユニット、20C レンズユニット、20D ノズルユニット、20Da ノズル、20E ビーム径制御ユニット、22, 24, 25a, 25b, 27 保護ガラス、23 コリメータレンズ、25 保護レンズ、26 集光レンズ、28, 29 レンズ、30 レーザ加工装置、30F, 31F 正面、31 キャビン、31S 側面、32 ガルウィングドア、33 開閉式天井扉、34 第1操作盤、35 第2操作盤、36 監視窓、37 パレットチェンジャ、40 コントローラ、41, 43 レンズ駆動源、42 操作部、101 レーザ出力コネクタ、103 ピックアップファイバ、104 光スペクトラムアナライザ、M, W 被加工材、MS 表面。

請求の範囲

- [請求項1] 金属材料よりなる被加工材を加工するレーザ加工装置であって、
複数のファイバレーザエンジンと、
前記複数のファイバレーザエンジンの各々で生成されたレーザ光を
まとめて取り出すフィーディングファイバケーブルと、
前記被加工材にレーザ光を集光して射出する加工ヘッドと、
前記フィーディングファイバケーブルで取り出されたレーザ光を前
記加工ヘッドへ伝送するプロセスファイバケーブルと、を備え、
前記フィーディングファイバケーブルと前記プロセスファイバケー
ブルとのコア径が等しく $50\ \mu\text{m}$ であり、
前記複数のファイバレーザエンジンの各々は、レーザ光中における
ラマン散乱光の値を低減するフィルタを有する、レーザ加工装置。
- [請求項2] 前記フィルタは、ラマン散乱光をファイバケーブルのコア外へ漏洩
する構成を有する、請求項1に記載のレーザ加工装置。
- [請求項3] 前記プロセスファイバケーブルの長さに基づいて、前記被加工材の
加工点でのラマン散乱光の値が $-30\ \text{dB}$ 以下となるように前記複数の
ファイバレーザエンジンの各々における発振出力を制限するコント
ローラをさらに備えた、請求項1または請求項2に記載のレーザ加工
装置。
- [請求項4] 前記複数のファイバレーザエンジンからレーザ光を発振させるファ
イバレーザエンジンと発振させないファイバレーザエンジンとを選択
するコントローラをさらに備えた、請求項1または請求項2に記載の
レーザ加工装置。
- [請求項5] レーザ加工装置を用いて、金属材料よりなる被加工材を加工するレ
ーザ加工方法であって、
前記レーザ加工装置は、
複数のファイバレーザエンジンと、
前記複数のファイバレーザエンジンの各々で生成されたレーザ光

をまとめて取り出すフィーディングファイバケーブルと、

前記被加工材にレーザ光を集光して射出する加工ヘッドと、

前記フィーディングファイバケーブルで取り出されたレーザ光を
前記加工ヘッドへ伝送するプロセスファイバケーブルと、を備え、

前記フィーディングファイバケーブルと前記プロセスファイバケー
ブルとのコア径が等しく $50\text{ }\mu\text{m}$ であり、

前記複数のファイバレーザエンジンの各々は、レーザ光中における
ラマン散乱光の値を低減するフィルタを有し、

レーザ光の波長が $1\text{ }\mu\text{m}$ 帯であり、アシストガスが不活性ガスであ
り、前記被加工材の加工点でのスポット径が $60\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $150\text{ }\mu\text{m}$
以下である、レーザ加工方法。

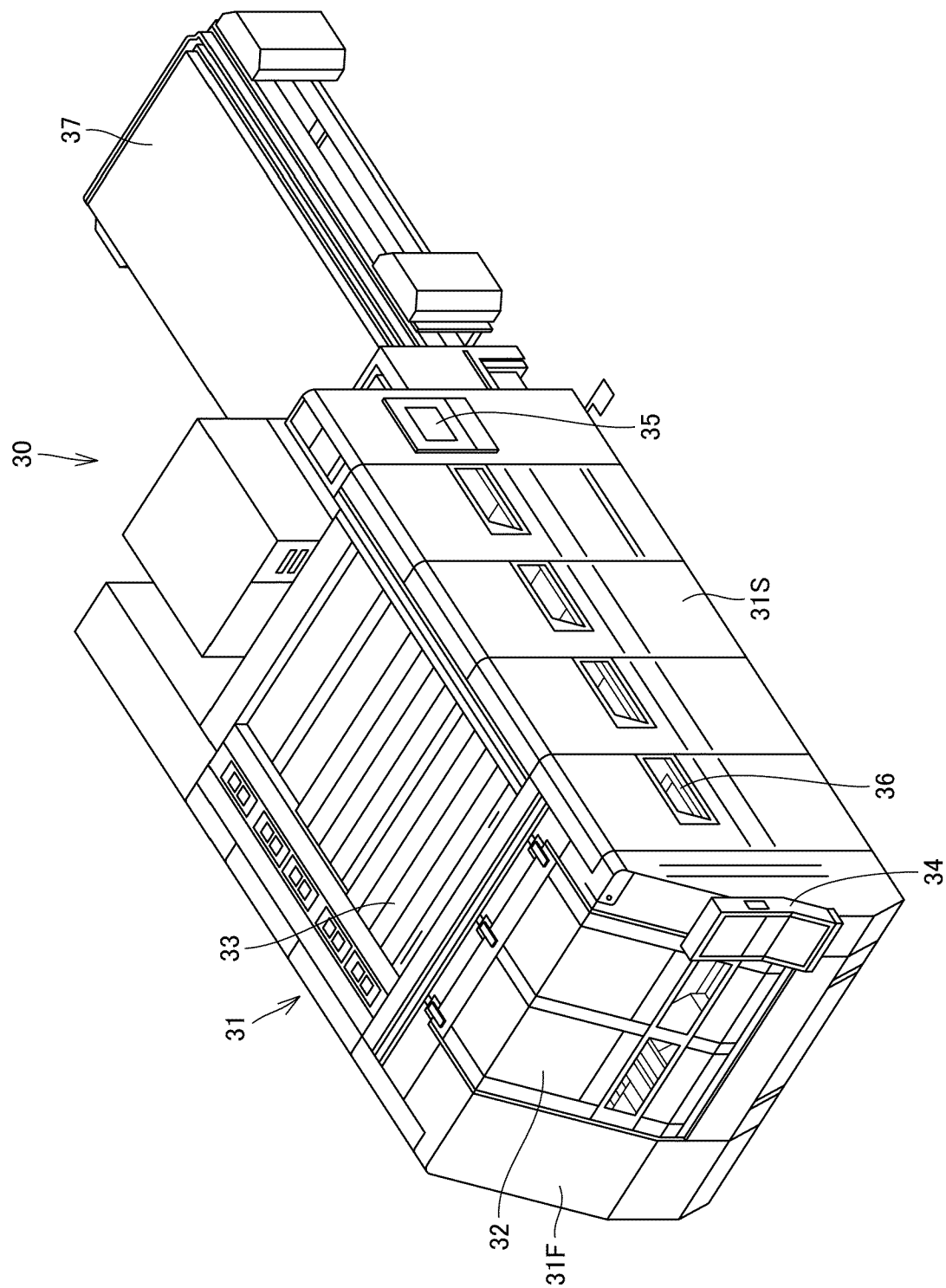
[請求項6] 前記レーザ光の焦点の位置は前記被加工材の表面から前記被加工材
の厚みの中央までの間の位置に設定される、請求項5に記載のレーザ
加工方法。

[請求項7] 前記被加工材の加工点におけるラマン散乱光の値は -30 dB 以下
である、請求項5または請求項6に記載のレーザ加工方法。

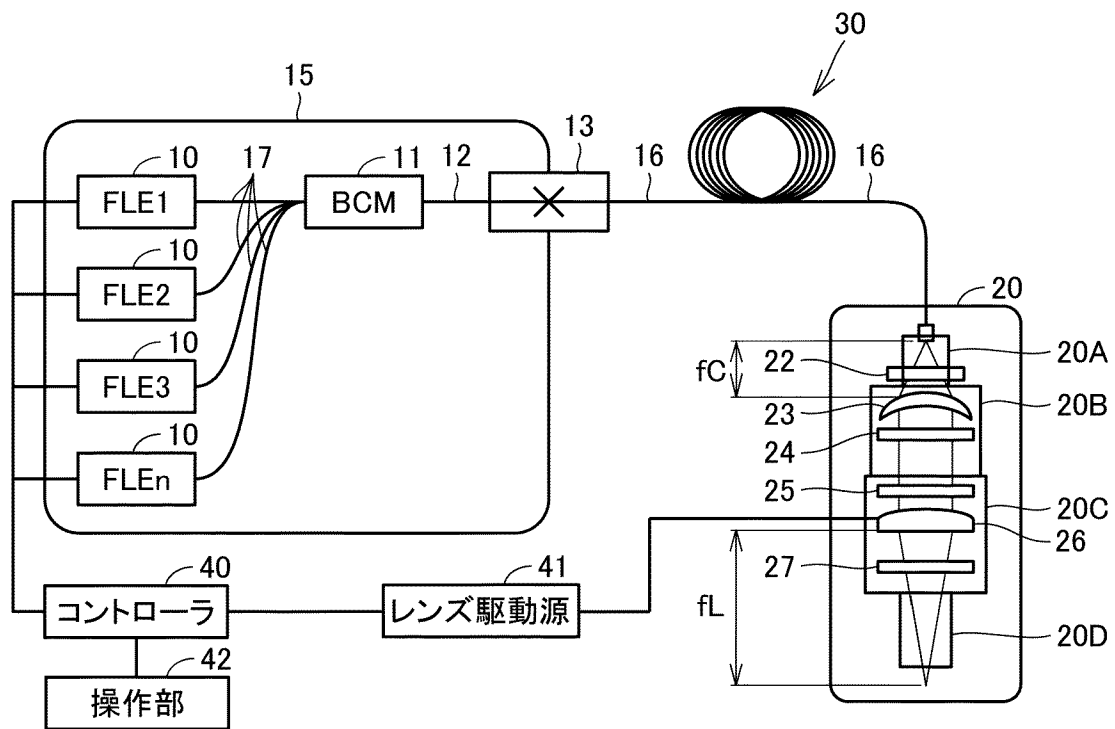
[請求項8] 前記プロセスファイバケーブルの長さに基づいて、前記被加工材の
加工点でのラマン散乱光の値が -30 dB 以下となるように前記複数の
ファイバレーザエンジンの各々における発振出力を制限する、請求
項5から請求項7のいずれか1項に記載のレーザ加工方法。

[請求項9] 前記複数のファイバレーザエンジンからレーザ光を発振させるファ
イバレーザエンジンと発振させないファイバレーザエンジンとを選択
する、請求項5から請求項7のいずれか1項に記載のレーザ加工方法
。

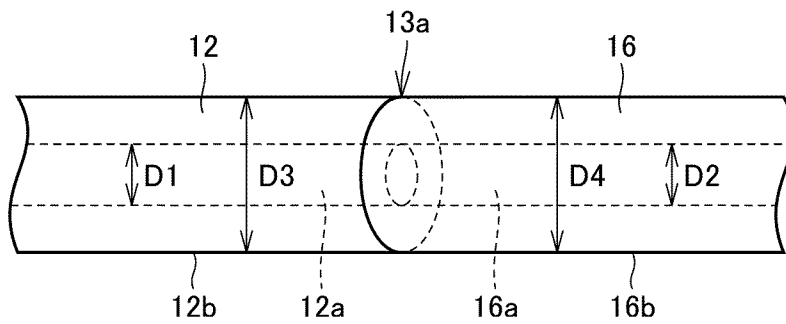
[図1]



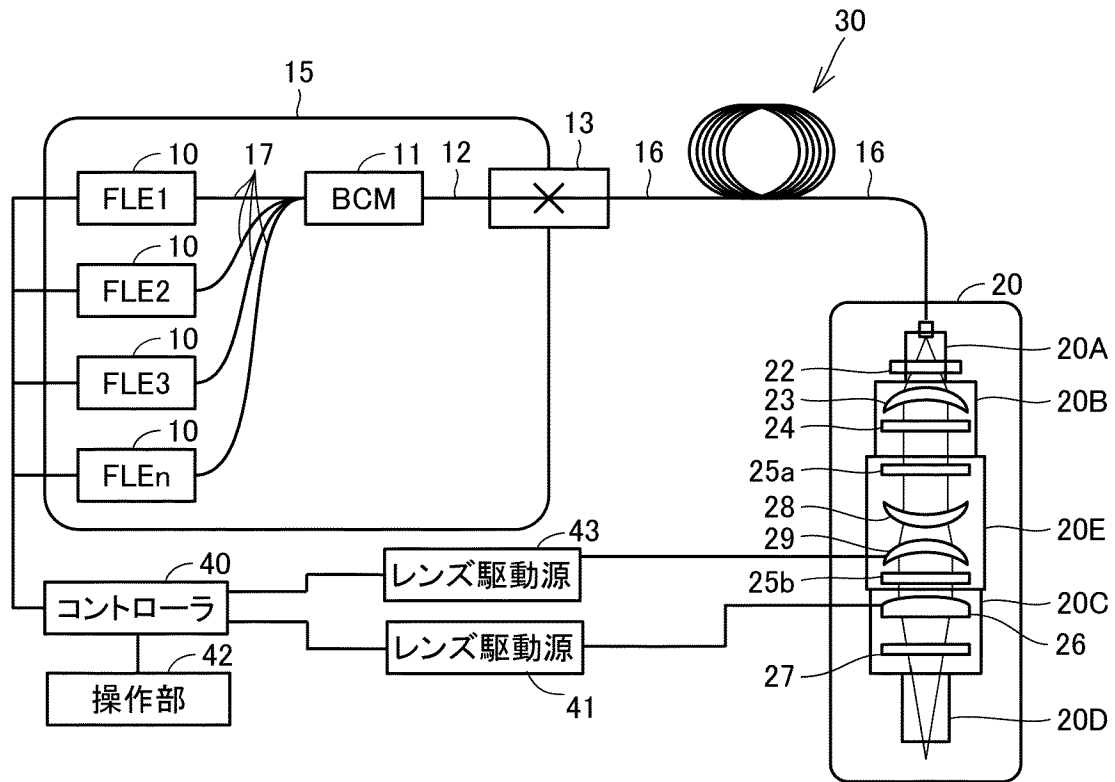
[図2]



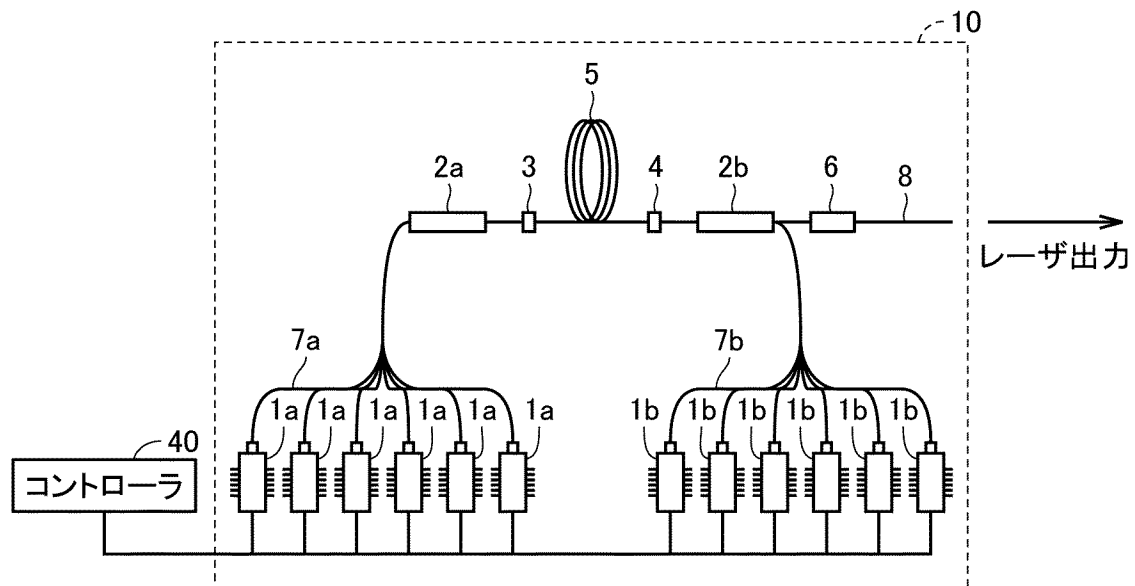
[図3]



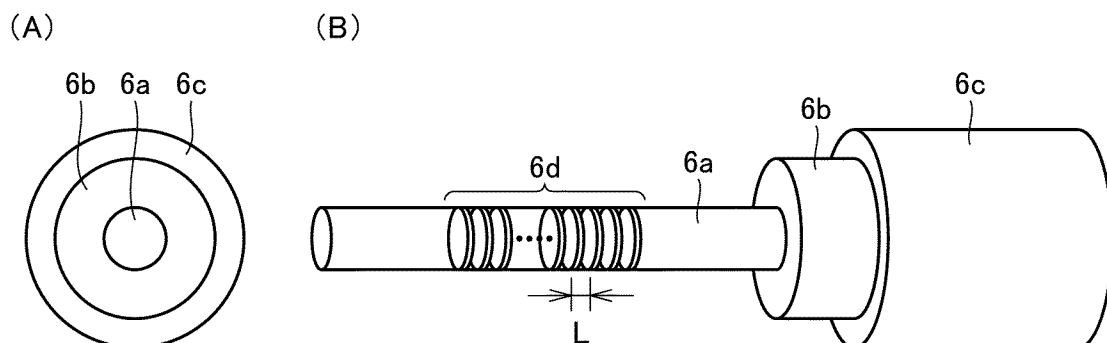
[図4]



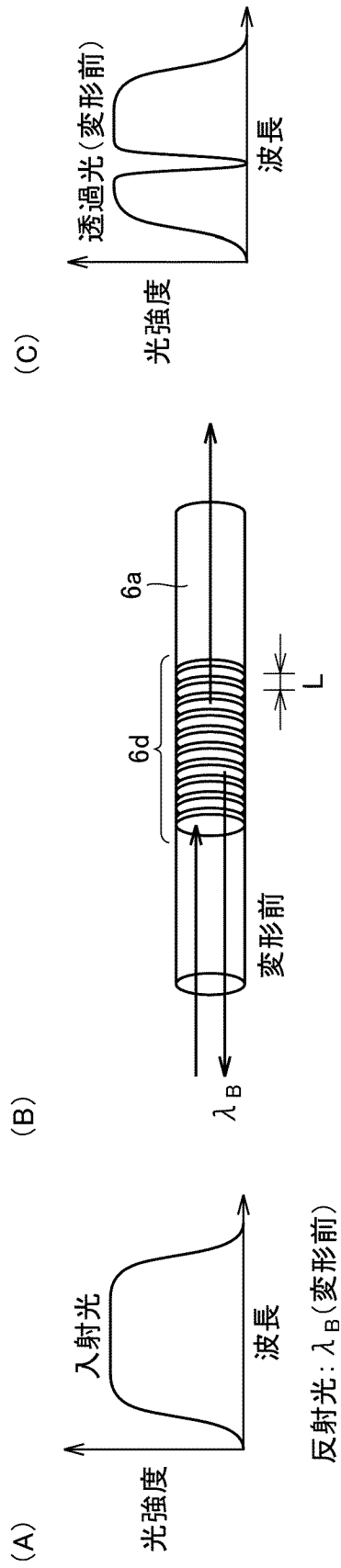
[図5]



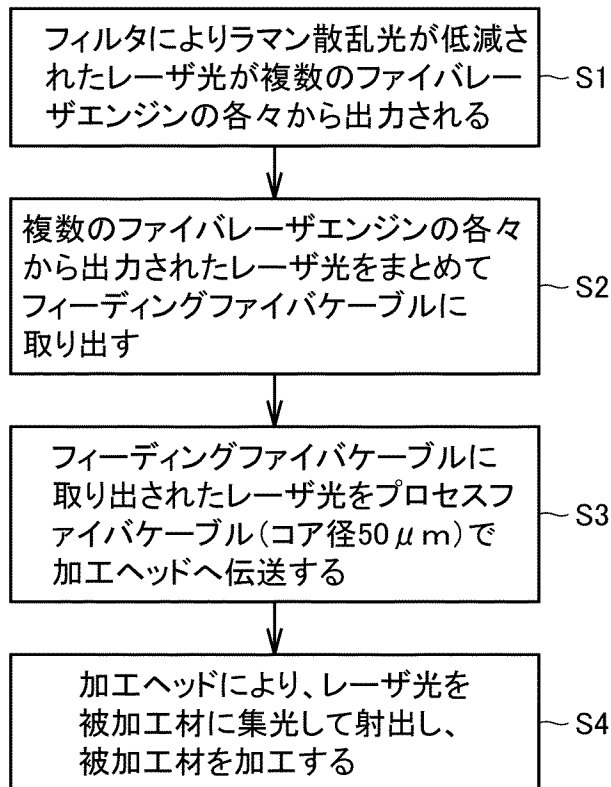
[図6]



[図7]



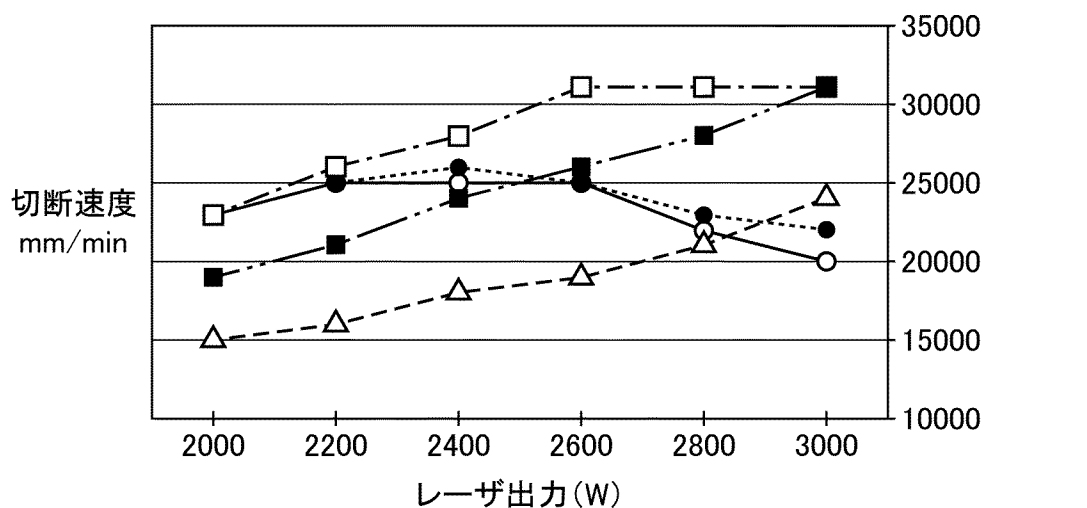
[図8]



[図9]

加工点におけるラマン散乱光の値が-25dBの場合

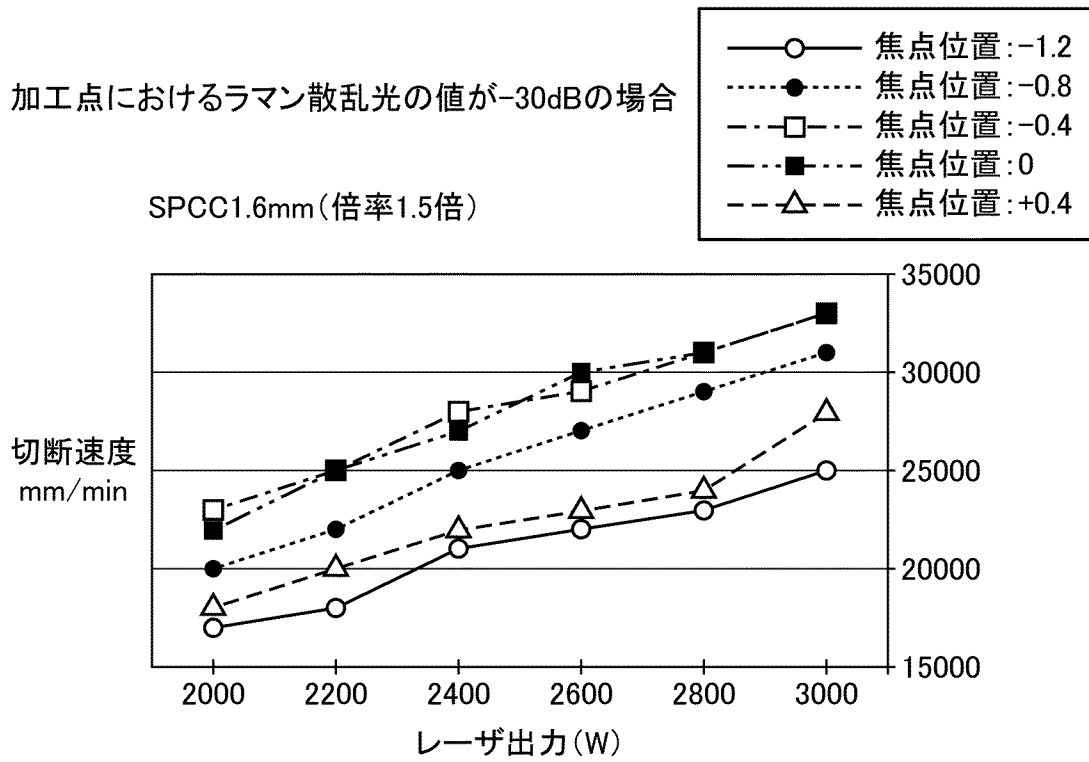
SPCC1.6mm(倍率1.5倍)



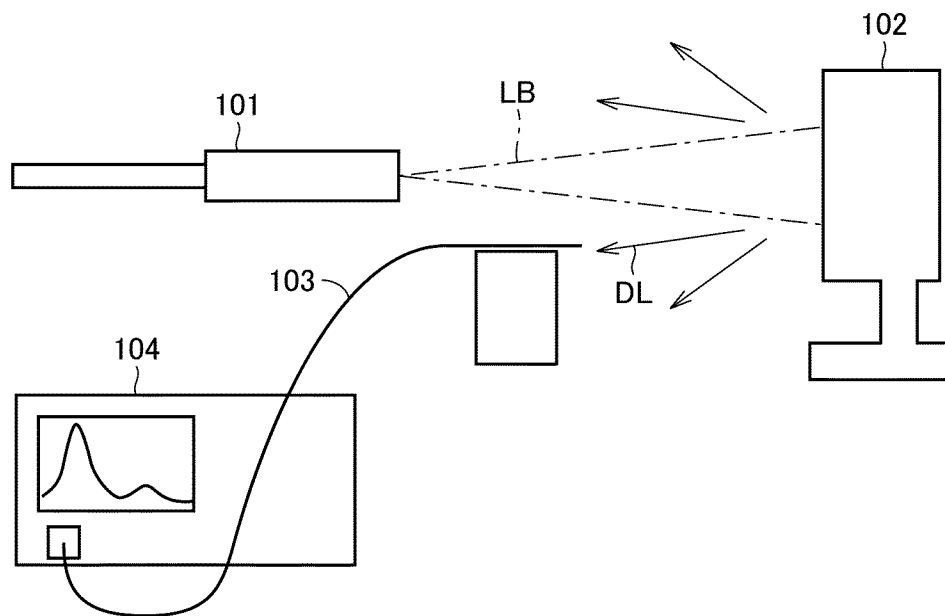
[図10]

加工点におけるラマン散乱光の値が-30dBの場合

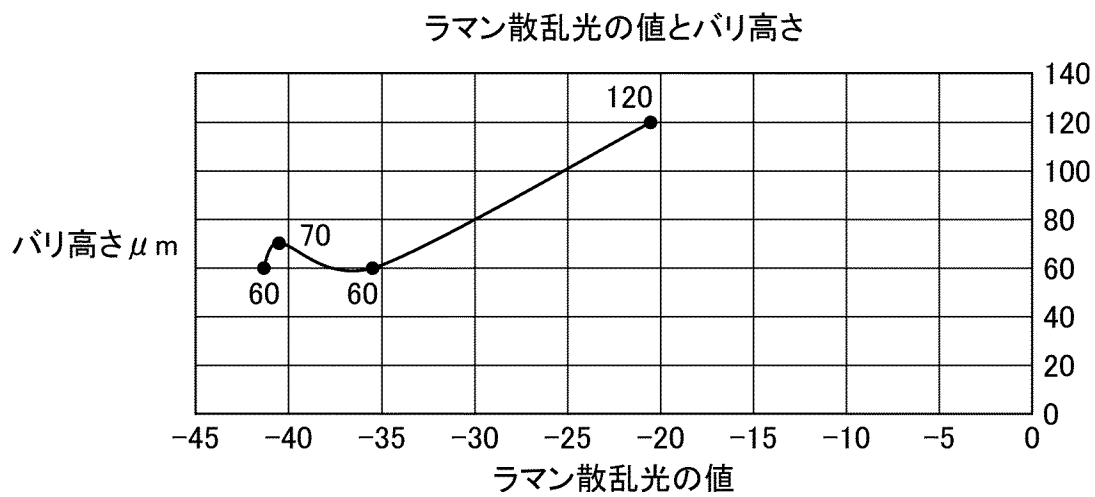
SPCC1.6mm(倍率1.5倍)



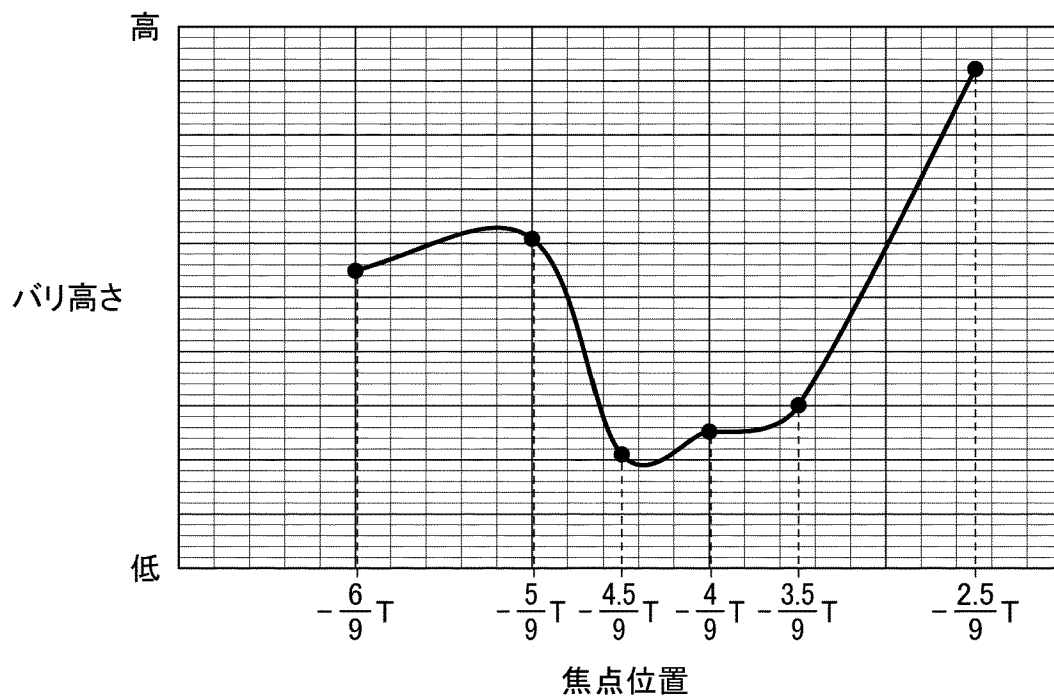
[図11]



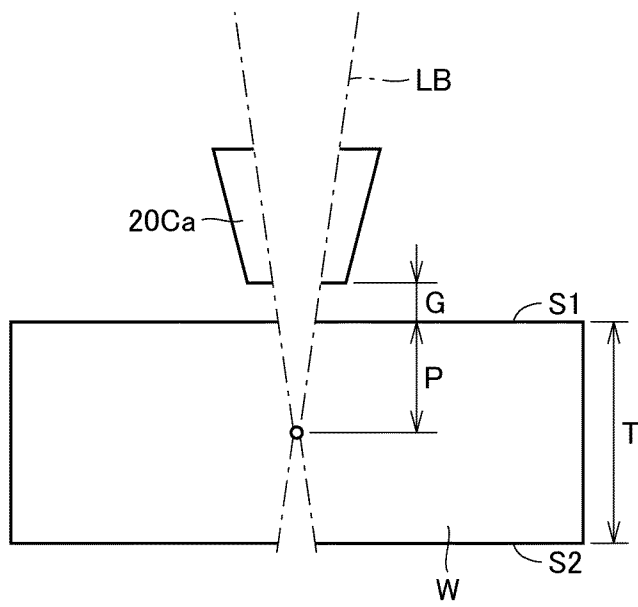
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/019878

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**B23K 26/064**(2014.01)i; **H01S 3/00**(2006.01)i; **H01S 3/067**(2006.01)i; **H01S 3/23**(2006.01)i

FI: B23K26/064 K; H01S3/00 B; H01S3/067; H01S3/23

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23K26/064; H01S3/00; H01S3/067; H01S3/23

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2019-179891 A (FUJIKURA LTD.) 17 October 2019 (2019-10-17) paragraphs [0075]-[0111], fig. 4-5	1
Y		2-3, 5-8
A		4, 9
Y	WO 2020/189716 A1 (FUJIKURA LTD.) 24 September 2020 (2020-09-24) paragraph [0065]	2-3, 5-8
A		1, 4, 9
A	JP 2016-201558 A (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 01 December 2016 (2016-12-01) entire text, all drawings	1-9
A	JP 2020-151758 A (FUJIKURA LTD.) 24 September 2020 (2020-09-24) entire text, all drawings	1-9
A	WO 2019/189459 A1 (FUJIKURA LTD.) 03 October 2019 (2019-10-03) entire text, all drawings	1-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 July 2022

Date of mailing of the international search report

02 August 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/019878

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2019-179891	A	17 October 2019	US 2021/0057873 A1 paragraphs [0076]-[0106], fig. 4-5 CN 111903018 A	
WO	2020/189716	A1	24 September 2020	(Family: none)	
JP	2016-201558	A	01 December 2016	(Family: none)	
JP	2020-151758	A	24 September 2020	(Family: none)	
WO	2019/189459	A1	03 October 2019	US 2021/0057873 A1 entire text, all drawings CN 111903018 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B23K 26/064(2014.01)i; H01S 3/00(2006.01)i; H01S 3/067(2006.01)i; H01S 3/23(2006.01)i FI: B23K26/064 K; H01S3/00 B; H01S3/067; H01S3/23														
B. 調査を行った分野														
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） B23K26/064; H01S3/00; H01S3/067; H01S3/23														
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの														
<table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2022年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2022年	日本国実用新案登録公報	1996-2022年	日本国登録実用新案公報	1994-2022年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2022年													
日本国実用新案登録公報	1996-2022年													
日本国登録実用新案公報	1994-2022年													
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）														
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
X	JP 2019-179891 A (株式会社フジクラ) 17.10.2019 (2019-10-17) 段落[0075]-[0111], 図4-5	1												
Y		2-3, 5-8												
A		4, 9												
Y	WO 2020/189716 A1 (株式会社フジクラ) 24.09.2020 (2020-09-24) 段落[0065]	2-3, 5-8												
A		1, 4, 9												
A	JP 2016-201558 A (古河電気工業株式会社) 01.12.2016 (2016-12-01) 全文, 全図	1-9												
A	JP 2020-151758 A (株式会社フジクラ) 24.09.2020 (2020-09-24) 全文, 全図	1-9												
A	WO 2019/189459 A1 (株式会社フジクラ) 03.10.2019 (2019-10-03) 全文, 全図	1-9												
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 参考文献のカテゴリー</td> <td>"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>"&" 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 参考文献のカテゴリー	"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	"&" 同一パテントファミリー文献	"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 参考文献のカテゴリー	"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの													
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの													
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	"&" 同一パテントファミリー文献													
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 13.07.2022	国際調査報告の発送日 02.08.2022													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 岩見 勤 3P 6101 電話番号 03-3581-1101 内線 3363													

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/019878

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2019-179891	A	17.10.2019	US 2021/0057873 A1 段落[0076]-[0106], 図4-5 CN 111903018 A	
WO	2020/189716	A1	24.09.2020	(ファミリーなし)	
JP	2016-201558	A	01.12.2016	(ファミリーなし)	
JP	2020-151758	A	24.09.2020	(ファミリーなし)	
WO	2019/189459	A1	03.10.2019	US 2021/0057873 A1 全文, 全図 CN 111903018 A	